動態浮根式葉菜水耕栽培技術

高 德 錚*

一、前　　言

由於民國73年3月日本筑波萬國博覽會中展示著一株號稱可生長12,000個番茄之水耕番茄樹，喚起了世人對植物水耕栽培之興趣，再加上近年來國內消費者對無農藥殘毒之精緻蔬菜的迫切需求，因此加速了台中區農業改良場對水耕栽培技術研究的脚步。從民國74年至民國75年12月間，本場已先後開發完成I～III型之水耕栽培技術，其間II型之栽培系統，榮獲台糖埔里副產加工廠率先引用試作0.15公頃，III型水耕系統則在75年初經台糖溪湖糖廠之元埔農場採用試作0.12公頃，俟於75年底本場開發完成第IV型定名爲動態浮根式水耕栽培系統（Dynamic Root Floating system, DRF system）後，一年間各地農民或非農民來場參觀之場次不下數千，國內外來函索取資料之函件亦堆積如山，而採用此型之農戶栽培面積由北至南已有1公頃左右，顯見各界對水耕蔬菜需求之殷切。經本場及農友試作之結果顯示，採用DRF水耕栽培系統，可不懼夏季高溫引起水溫上昇及溶氧下降所導致水耕蔬菜根部活性下降，提早老化，產量降低之弊端。換言之，DRF 水耕栽培技術最宜作爲解決本省夏季因高溫、多濕、颱風、豪雨等，所造成夏季蔬菜供需不平衡之困境。再者，本省位處亞熱帶，夏季氣候炎熱，病蟲害之繁殖頻度遠高於溫帶，農友常以噴灑農藥來防治病蟲害的發生，以滿足消費者對無蟲孔蔬菜之需求；或者利用高冷地栽培來調節產期及供應夏季消費量之不足，但可供栽種之高冷地有限，且運費成本高，至今夏季蔬菜不論於價格、品質、產量均尙未臻需求，而冬季時又因蔬菜產量大增，不但菜價便宜且供過於求。由於DRF水耕系統在夏季液溫高達30℃時，仍可生產溫帶之葉萵苣，而且冬季時可利用溫室保溫特性來生產夏季蔬菜，藉以調節生產量。因之可周年生產小白菜、空心菜、青梗白菜、葉萵苣、莧菜……等十餘種葉菜類蔬菜，以提昇蔬菜之品質及穩定產量與價格。

二、何謂DRF水耕系統

所謂「動態浮根式水耕栽培系統」，係基於植物栽種於本系統時其根系在每次營養液之灌排流程中，隨養液之昇降而上下左右波動，且一旦進液灌滿至8公分之水位後，藉由栽培床內之水位自動昇降排液器，使營養液由8公分逐漸降至4公分。因之，上位根部可露於空氣層中而增加根部活性，而無懼夏季高溫所引起溶氧量缺乏之困擾。

三、硬 體 設 施

㈠蔬菜種類：

夏季：白菜、空心菜、芥藍菜、莧菜、萵苣、油菜。冬季：尼龍白菜、青梗白菜、芥藍、結球萵苣、茼蒿、菠菜。

---

* 台中區農業改良場

(二)水耕網室：

以 $\frac{1}{2}''\ \phi$ 鍍鋅鐵管爲骨架，搭構一長16公尺、寬6.8公尺，中心最高工作點爲3.6公尺之高隧道式網溫室。屋頂部覆以0.2mm之PVC 透明塑膠布，兩邊長度垂至地面，爲活動式，平時掀起以利通風，下雨時拉下可防雨、防風。溫室四周則以24網目之白色尼龍紗網圍住，以防蟲害。於夏季氣溫過高時，可於屋頂塑膠布上加覆40%黑色遮蔭網以遮蔭。在風害嚴重地區可搭設寬2.05公尺，高1.8公尺之矮架水耕專用溫室。

(三)栽　培　床：

蔬菜型之水耕栽培床爲保麗龍發泡成形之雙凹型槽，標準栽培床規格爲內徑深8公分，長180公分，寬92公分，中央有2公分寬之凸起，將栽培床分隔成兩槽，成 ，雙槽型。由於蔬菜栽培床爲大型床，中央之凸起具有支持保麗龍面板之功用。每一栽培床用3片長90公分、寬60公分、厚3公分之承板蓋住，每一承板上有等距離排列50個直徑2.5公分之圓形栽培孔。

(四)養　液　槽：

爲4.5噸之黑色PE硬質塑膠桶，地下爲1.0公噸之同質塑膠桶。

(五)空氣混入器：

裝置於栽培床之入水口處，當養液經此流入栽培床時，因其內有2組十字型重疊之塑膠閘門，會產生八條水流沖出，可將外界之空氣由兩小孔吸入混入養液中，約可增加30%之空氣混入，增加養液中之溶氧量，使養液中之溶氧量維持於3～6 ppm 之間。

(六)排　液　器：

固定於栽培床末端，爲一圓形雙層塑膠閘門，外環固定高度爲8公分，基部圓周有三個拱形孔洞以流水，內環由4個套環所組成，其大小分別爲3公分深一個，2公分深二個及1公分深一個，4個套環可自由組合，成0～8公分高，因之，可調節水位高低限爲0～8公分。栽培床上之水位高低則完全視此內環之高低而定。

(七)抽水馬達：

爲1馬力之高速抽水馬達，以1″口徑PVC管連接抽水馬達與栽培床間，並藉由定時器運轉以使養液作定時之循環運作。

(八)定　時　器：

作爲控制抽水馬達定時自動抽水循環運作之時間，操作時從上午10時至下午16時間每小時一次，每次循環十五分鐘，其餘時段2～3小時循環一次，每次十五分鐘。

四、營養液配方

各種蔬菜生育過程所需之配方均不同，其標準成份如表一，栽種時依栽培種類別，將基本配方中之巨量元素濃度當作"S"加倍之，微量元素則不變。

表一　台中區農業改良場葉菜類水耕營養液基本配方

	營養液名稱	用量 mg／ℓ
巨量元素	硝酸鈣（ $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ）	236
	硝酸鉀（ KNO_3 ）	404
	硫酸鎂（ $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ）	123
	磷酸一銨（ $NH_4H_2PO_4$ ）	57
微量元素	Fe-EDTA	20
	硼酸（ H_3BO_3 ）	1.2
	氯化錳（ $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ ）	0.72
	硫酸銅（ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ）	0.04
	硫酸鋅（ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ）	0.09
	鉬酸鈉（ $Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ ）	0.01

五、栽培操作

進行DRF 水耕栽培技術，首先需將種子播種於中間有十字型切割之海綿塊中，每塊之基本規格爲 2.5 × 2.5 × 3.0 公分，但市售成品已將 96 小塊海綿互相接連。

㈠播種：

一般葉菜類不需先行催芽、浸種之處理，可直接播種。播種是將種子點播於小海綿中心之十字切割處。依種子之大小而定，大種子播至海綿之 1／2 深處，小種子僅需 1／3 深處，每塊海綿播 2～3 粒種子。冬季蔬菜如菠菜、芹菜、鴨兒芹等種子，播種時要置於10℃之低溫下冷催，以促進發芽。

㈡浸種：

這是水耕栽培之一特別的處理，而發芽狀況的好壞亦受此一處理極大之影響。將播種好之海綿片，以三片爲一單位，排置於育苗盤中，由盤緣加水，海綿片會浮起，輕輕均勻地於海綿片全面拍打，促其吸水，使海綿充分濕潤。三片海綿皆濕潤後，育苗盤中留存 1／3 高度之水量，供其利用。再用黑色塑膠布覆蓋住，以隔日光，保持飽和濕度。放置於陰涼通風處。

㈢育苗：

一般白菜類於 1～2 天後便會發芽，萵苣類則需 3～4 天。待其發芽率達八成後，便可將塑膠布掀起，置於日照充足處，接受綠化健苗。當子葉完全展開，本葉開始生長時，即不要用水而以營養液替代之來澆水，營養液所需之濃度如表一之標準配方的½～⅓濃度。澆水時不可直接澆，要將海綿片掀起由底部灌入，否則海綿表面會生青苔。

㈣移植：

當苗生長至本葉 2～3 片時，可移植至栽培床中栽培，移植時只要將小海綿輕輕剝開就可剝離，再一塊塊植入栽培穴中。移植時，種植小海綿於栽培孔中要注意根部，不要讓根夾於海綿與保麗龍板間，以致根吸不到水而枯死，於種植時，若根多而疏散，可將根沾水，使根系聚集再種下。每一板移植完畢，應掀起來檢查，看根是否被夾住。

(五)病蟲害：

水耕栽培過程會遭受病蟲害侵襲之主要原因，係來自育苗過程種子帶菌，或幼苗時不幸被害蟲侵襲。爲避免病蟲害之感染，最好有一育苗專用網室。育苗前網室全面消毒，則可將病蟲害之發生頻度減至最低。再者，移植後應避免非工作人員經常進出栽培室，否則一旦發生小菜蛾、夜盜蛾、蚜蟲或紅蜘蛛等之危害後，除非廢耕而進行全面消毒外，無法徹底根除之。

(六)消 毒：

水耕栽培並無法絕對防止病蟲害之危害，爲了徹底執行蔬菜栽培期間不噴灑農藥之原則，因之，每一作採收後至下一作移植前、或定期地，網溫室內栽培床架下方及栽培床需全面消毒。栽培床之消毒方法大致上先將營養液排回養液槽中，然後將栽培床上之承板取出清洗，而讓栽培床直接曝曬於大太陽中。栽培床若著生藻類則可用福馬林消毒水泡之則可去除。至於栽培床下，則可噴灑一般殺蟲劑防治之。

(七)養液配製：

依表一之基本配方中成分及表二栽種作物別選定所需之配方後，各組成分化學藥劑可向坊間化工原料行購買，巨量元素應選購食品級或工業級爲宜，微量元素則以分析級最佳，購買時需了解各成品之有效成分（濃度），及不純物之種類和成分量，否則一旦含過量之重金屬時，將危害到消費者之健康。

表二　各種葉菜類蔬菜所需之營養液濃度

蔬菜別	巨量元素濃度	EC（mmho）	pH
白菜、萵苣	1.5 S	1.3	6.0
菠菜、莧菜、油菜、茼蒿、空心菜	2.0 S	1.7	6.0
青梗白菜、芥菜、芥藍菜、結球萵苣	2.35 S	2.0	6.0

配藥時首先需確定用水之組成分及pH值，若在7.5以上時需添加濃硫酸，使之降至6.0左右，否則部分組成分會沈澱。一般而言，每一噸水欲下降1個pH單位時，需添加95%濃硫酸25～50mℓ，進行養液調配時，各組成分需先充分溶解後，再依次加入養液槽中，不可一起混入。再者，初次調配養液時，由於成分量太多，不易充分混合，因此需分成幾天逐量添加。反之，若pH低於5.0，可添加40%之氫氧化鈉飽和溶液，每昇高1個pH單位，每一噸水需加入50～100mℓ。用水之組成分亦非常重要，不論用自來水或地下水，其水質需事先檢定組成分，確定其不含重金屬元素。

(八)養液管理：

植物生長過程中，根部會分泌些許物質且由營養液中吸收各種成分，因此，營養液組成分之濃度及酸鹼度會逐漸變化，根據本場之研究成果顯示，營養液之濃度及酸鹼度之變化不能超過配方量之10%，否則水耕植物生育會不正常。一般而言，營養液濃度之測量單位爲mmho，即以電導度計（Electric Conductivity meter, EC meter）來度量之，而營養液酸鹼

度之測量單位為 pH，即以酸鹼度計（pH meter）來度量之，其度量值由pH 1～14，7為中性、1為強酸、14為強鹼。實際經營水耕栽培時，每星期至少需測量一次營養液之pH值及EC值，倘若測定值不在原先配方EC或pH之10％上下限時，則需一一調回。以pH 值為例，過酸時每一噸營養液可添加40％氫氧化鈉飽和溶液50～100mℓ，調昇1個pH單位，若過鹼時可添加95％濃硫酸25～50mℓ，調降1個pH單位。若EC太高時，則可添加清水沖淡之，否則需將養液槽中之營養液排掉重新配藥。若EC值太低時，則分別加入定量之各營養液組成分。

(九)採收：

依季節不同，生長速度會有快慢詳如表三所示。夏季較快、冬季較慢，小白菜18～25天，葉萵苣28～35天便可採收。採收時將植株連根拔起即可，其根莖間之小海綿毋須去除，這是水耕蔬菜不可仿冒之標誌。

表三　水耕蔬菜生產特性（100m²，一作）

蔬菜種別	冬季						夏季					
	葉數	生長日數	單穴鮮重(g)	去根鮮重(g)	栽培床產量(kg)	100 m²之產量(kg)	葉數	生長日數	單穴鮮重(g)	去根鮮重(g)	栽培床產量(kg)	100m²之產量(kg)
小白菜	8.0	20	63.9	61.3	7.7	268.4	7.9	14	70.0	68.0	8.4	294.0
青梗白菜	8.5	22	84.4	78.7	10.1	354.5	7.4	23	46.4	44.3	5.6	195.0
尼龍白菜	8.5	21	83.0	81.1	9.9	348.6	6.8	22	65.5	62.8	7.9	275.1
莧菜	15.0	28	60.6	54.5	7.3	254.5	12.2	20	54.5	45.2	6.5	228.9
縐葉萵苣	8.8	22	86.6	81.1	10.4	363.7	8.9	18	76.0	71.0	8.6	300.7
結球萵苣	26.3	48	369.8	345.5	6.9	241.8	—	—	—	—	—	—

*每穴栽植株數結球萵苣及夏季青梗白菜為1株，餘為2～3株，每100m²可置35個栽培床。

六、栽培成效

水耕蔬菜之產量調查，係以第八片葉片完全展開時為經濟採收期，結球萵苣例外，表三為單穴調查資料，一栽培床產量及一百平方公尺面積之產量。

由表三可知，水耕蔬菜生長期間較土耕縮短5～7天，尤以夏天更明顯，如此一年可栽植12～20次，且無病蟲害之慮，又不會受到天候不良之限制，且產量平穩。由於葉菜類為短期性作物，定植至採收之間只隔20～30天，且葉菜類葉片鮮嫩肥大，一般露地栽培，蟲害嚴重，不施藥是不可能有好的收成，一旦施藥控制，安全問題十分嚴重。水耕栽培所生產之蔬菜可說完全不需依賴農藥，只要設施結構完整，育苗室、栽培室保持清潔，防範蝶、蛾之飛入，病蟲害無從產生。

七、經濟分析

表四爲構築 1000m^2 DRF 水耕系統之開支細目，其中包括水耕設施及網溫室設施等，以水耕設施爲例，每構築1000m^{2}需具備下列材料：栽培床350個、黑色PE塑膠布700公尺、栽培床架40組、空氣混入器50個、排液器50個、養液槽4個、抽水幫浦8個、定時控制器4組及PVC灌排配管等諸設施，連同施工費，共需新台幣63.37萬元。至於網溫室之設施，若採用省農林廳目前推薦之標準網溫室則每1000m^{2}之造價需新台幣30萬元。因之，總設施費用需新台幣93.37萬元。

表四　DRF水耕系統之構築成本（1000m^2）

項　目	數　量	單價（元）	金額（千元）
栽培床（保麗龍製）	350床	350	122.5
黑色PE塑膠布（0.25mm）	700公尺	40	28.0
栽培床架	40組	4,000	160.0
空氣混入器	50個	250	12.5
排液器	50個	550	27.5
養液槽（10噸）	4個	40,000	160.0
抽水幫浦（1／2HP）	8個	2,300	18.4
定時控制器	4組	1,200	4.8
PVC灌排配管	4組	5,000	20.0
栽培設施施工費	4間	20,000	80.0
小　計			633.7
網溫室資材	4間	70,000	280.0
網溫室施工費	4間	5,000	20.0
小　計			300.0
總　計			933.7

表五爲以小白菜爲例每1000m^{2}之年收益性，小白菜之每作平均收量爲2,844公斤，每年可採收16次，若以每公斤30元之農民產地價格，則粗收益達1,365,120元。而開支方面，需扣除種子費、育苗用海綿費、養液費、電費、水費、消毒用藥劑費、雇工費、設備折舊費、包裝材料費及包裝過程之蔬菜耗損費等費用，合計達1,046,930元，因之淨所得爲318,190元所得率爲23.3%。關於設備折舊費之估算，仍依塑膠布（網溫室屋頂用及栽培床用）一年更換一次，水耕設施分3年平均分攤及網溫室骨架分5年平均分攤爲準。

表五　小白菜水耕栽培之年收益（1000m²）

調　查　項　目		金　額（元）
收入	年生產量	2,844 公斤／次×16 次＝45,504 公斤
	單價[1]	30 元／公斤
	粗收益	1,365,120 元
開支	種子費	4,000 元
	海綿費	82,030 元
	養液費	25,600 元
	電　費	48,000 元
	水　費	12,000 元
	消毒用藥劑費	6,000 元
	雇工（2人）	10,000 元／月×12 月×2＝240,000 元
	設備折舊費[2]	344,300 元
	包裝材料費	150,000 元
	包裝耗損費	135,000 元
	計	1,046,930 元
	淨所得	318,190 元
	所得率	23.30％

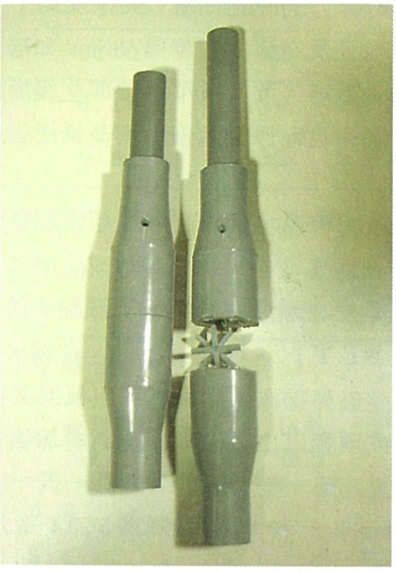
1. 依現行生產精緻蔬菜農民之產地價格。
2. 水耕設施與網溫室設備之折舊基準係依塑膠布一年更換一次，其他水耕設施分 3 年分攤及網溫室骨架依 5 年分攤。

八、未來展望

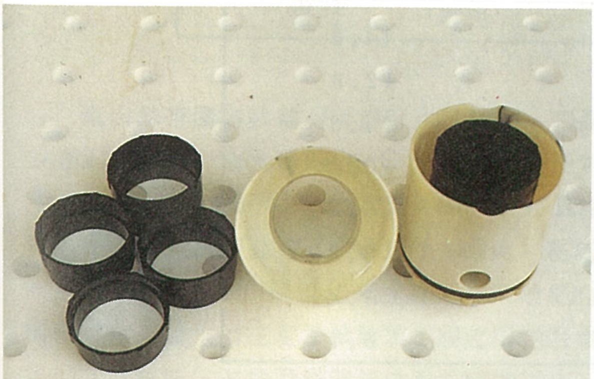
台灣由於地狹人稠土地之利用已臻飽和，農地由於過分利用使地力衰退，須以大量之肥料加注，才能達到所需品質及收穫量，而一般民間又偏好速效之化學肥料，其後果引起土壤酸化等等農業問題，又爲克服天候不良，利用設施栽培來調節產期亦是未來必需之途，於設施內同一塊土地連作多次，又會發生病蟲害及土壤汚染問題。水耕栽培的優點正好針對這些缺失作有力之改善。現雖尚有問題正待克服，如成本偏高，技術較細密等，若能再研究出低成本化，技術平易之方法，更能大量推廣，以造福社會。

照片 1. 抗風型矮架水耕專用溫室
（寬度 2.05 公尺、高 1.8 公尺、長度無限）

照片 2. 保利龍製水耕栽培床。
（單位床之規格爲 1.03 公尺× 1.80 公尺）



照片 3. 空氣混入器



照片 4. 水位調節器

照片 5. 大規模DRF系統栽培成效